

# Rolle der Digitalisierung in der soziotechnischen Transformation des Energiesystems

Paul Weigel und Manfred Fischedick

*Mit Beginn der Liberalisierung des Energiesektors startete eine Reihe von Transformationsprozessen, welche unser heutiges Energiesystem grundlegend geformt haben. Im Vergleich zu den Jahrzehnten zuvor ist das Energiesystem, das bis dato durch lange Zeitkonstanten geprägt war, heute durch eine hohe Dynamik gekennzeichnet und steht unter ständigem Veränderungsdruck. Nachfolgend wird die Rolle der Digitalisierung in Bezug auf ihre Transformationswirkung mit Hilfe von Methoden aus der Transitionsforschung diskutiert. Dabei kommt vor allem der Ansatz der Mehr-Ebenen-Perspektive (MLP, „Multi Level Perspective“) zur Anwendung.*

Die aktuellen Transformationsprozesse unterscheiden sich in ihrer Tiefe wie auch in der Geschwindigkeit von früheren Veränderungen. Auslöser dafür sind einerseits exogene (externe) Impulse wie etwa die politisch motivierte Umsetzung der Liberalisierung und der zunehmende Druck, den Risiken des Klimawandels begegnen zu müssen. Andererseits sind auch endogene (interne) Veränderungsfaktoren Teil der Dynamik. Das System entwickelt sich auch von innen heraus fortwährend weiter und jede Veränderung zieht zwangsläufig weitere Veränderungsprozesse nach sich.

Treibender Faktor sind technische und gesellschaftliche Entwicklungen wie aktuell vor allem die Digitalisierung. Durch die sich rasant entwickelnden technischen Möglichkeiten im Bereich der Digitalisierung werden Veränderungen im Energiesystem von außen angestoßen („Technology Push“). Gleichmaßen bestehen im Energiesystem selbst Herausforderungen (z. B. der Umgang mit der Zunahme der volatilen Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien), aus denen sich heraus ein Bedarf an digitalen Lösungen ergibt („Demand Pull“).

## Einführung in die Mehr-Ebenen-Perspektive (MLP)

Zur Beschreibung komplexer Transformationsprozesse hat sich der maßgeblich durch F.W. Geels geprägte Ansatz der Mehr-Ebenen-Perspektive als geeignete Methode bewährt. Im Fokus stehen bei der MLP sogenannte soziotechnische Regime (z. B. das Energiesystem, welches u. a. durch Technologien, Infrastrukturen, Marktbedingungen, politische Rahmenbedingungen und Konsumentenpräferenzen konstituiert ist). Der Transformati-

Abbildung in "et", 2018, Heft 5 verfügbar

Die Digitalisierung ist ein wichtiger Bestandteil der Gesamttransformation des Energiesektors  
Bild: Fotolia

onsprozess wird in der MLP als Zusammenspiel von externem Veränderungsdruck sowie regimeinternen Veränderungen auf verschiedenen Ebenen verstanden [1-3]. Die äußeren übergeordneten Entwicklungen, „Landscape“ genannt kreieren dabei einen Veränderungsdruck auf das Regime von außen, welches infolgedessen aus der Balance gerät. Hierdurch sowie durch den permanenten internen Veränderungsdruck eröffnen sich Möglichkeiten („Windows of Opportunities“) für die erfolgreiche Etablierung von innovativen Ansätzen. Diese in der MLP als Nischenentwicklungen bezeichneten Prozesse können sowohl auf technologischen als auch auf sozialen Innovationen (z. B. neue Geschäftsmodelle) beruhen.

Angewandt auf den Energiesektor lassen sich zwischen dem Ausgangszustand (gewählt als vor Beginn der Liberalisierung) und dem Ziel-

zustand (gewählt als zukünftige digital vernetzte, erneuerbare, kundenorientierte Energiewelt) vereinfacht die folgenden vier Phasen der Transformation identifizieren:

- Liberalisierung des Energiesektors;
- Markteinführung erneuerbarer Energien (EE) und Verbesserung der Energieeffizienz (Phase 1 der Energiewende);
- Weiterer Ausbau und Systemintegration der erneuerbaren Energien und breite Umsetzung der Möglichkeiten der Digitalisierung (Phase 2 der Energiewende);
- Sektorenkopplung.

Zentrale, den Transformationsprozess bestimmende Akteure sind u. a. Politik/Regulierer (hier von großer Bedeutung und deshalb als Zwischenebene zwischen „Landscape“ und Regime aufgeführt), Erzeuger, Verbraucher,

Netzbetreiber, Vertrieb, Handel und gesellschaftliche Gruppierungen. Die Übersicht der Transformation des Energiesektors sowie die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Ebenen ist in Abb. 1 dargestellt.

## Retrospektive Betrachtung der Transformationsprozesse

Nachfolgend werden die Transformationsprozesse seit Beginn der Liberalisierung nachgezeichnet, indem auf die verschiedenen Akteure im Energiesystem, ihre Rolle und ihr Verhalten im System jeweils kurz eingegangen wird.

### Der Ausgangspunkt – Konventionelle Energiewelt

Vor Beginn der Liberalisierung war die Energiewelt durch monopolartige Strukturen und klar regulierte Beziehungen zwischen den Akteuren gekennzeichnet:

#### Politik/Regulierer

- Fokus innerhalb des Zieldreiecks Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit liegt nicht zuletzt getrieben durch die „Ölschocks“ der 1970er Jahre auf der Versorgungssicherheit. Umgesetzt wird dies durch eine stärkere Diversifizierung des Primärenergie- und Stromerzeugungsmixes.

- Starke Regulierung des Regimes. Keine Trennung der Akteure für Erzeugung, Netz und Vertrieb. Gebietsmonopole (Konsortialgebiete), in denen der Netzbetreiber das alleinige Recht und die Pflicht der Versorgung hat.

- Starke Verbundunternehmen, die sich vorwiegend auf den Bau und Betrieb von Großerzeugungsanlagen und Übertragungsnetzen fokussieren. Regionalversorger und Stadtwerke beschränken sich zumeist auf den Bau und Betrieb der Verteilnetze sowie den Strombezug von den Verbundunternehmen. Alle drei Unternehmensarten sind im Endkundenvertrieb (B2B und B2C) tätig.

- Kommunen sind vielfach an Versorgungsunternehmen beteiligt.

#### Erzeuger

- Oligopol, wenige überregionale Akteure (Verbundunternehmen);

- Erzeugungsmix basierend auf konventionellen Technologien (Kohle, Gas, Kernenergie);

- Kernkompetenz ist die Projektierung und der Betrieb der konventionellen Großanlagen;

- Risikoaverse Unternehmensführung, hohe Investitionen mit langfristig planbaren stabilen Gewinnen.

#### Verbraucher

- Kunden sind reine Abnehmer und haben keine Wahlmöglichkeit ihres Versorgungsunternehmens.

#### Netz

- Gebietsmonopole, nur der Monopolinhaber betreibt und nutzt das Netz.

- Übertragungsnetzbetreiber steuert überwiegend den Ausgleich auf der Erzeugungsseite.

- Stromverbrauch ist nur in geringem Maße aktiv steuerbar.

#### Handel

- Kein börslicher Stromhandel, bilaterale Lieferverträge zwischen Versorgungsunternehmen bzw. Großkunden, Endkundenpreis ist reguliert.

#### Vertrieb

- Gebietsmonopole, nur der Monopolinhaber beliefert Kunden.

- Vertrieb von Strom und Gas als Commodity.

- Weitere Interessensgruppierungen.

- Anti-Atom Bewegung nur in kleiner gesellschaftlicher Gruppe, Stärkung durch Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986.

- Klimawandel noch nicht als gesicherte Erkenntnis angesehen.

- Konventioneller Umweltschutz zunehmend im öffentlichen Diskurs, getrieben durch das Waldsterben Anfang der 1980er Jahre.

### Liberalisierung

Mit der Umsetzung der EU Binnenmarkt-Richtlinie für Elektrizität und Gas im Gesetz zur Neuordnung des Energiewirtschaftsrechts vom 24.4.1986 wurde die Liberalisierung der Strom- und Gaswirtschaft in einem Schritt vollzogen. Durch das sog. „Unbundling“ wurde die vertikale Integration der Wertschöpfung aufgelöst. Erzeugung, Netz und Vertrieb mussten bilanztechnisch und operativ voneinander getrennt werden. Somit waren Kunden nicht mehr an den lokalen Netzbetreiber

als Stromlieferant gebunden, sondern konnten diesen frei wählen. Wettbewerb entstand unter etablierten Akteuren im Strommarkt sowie mit einer Vielzahl an neuen Wettbewerbern. Dies führte zu einem raschen Preisverfall, insbesondere im Gewerbekundenbereich. Im Vertrieb begann ein Umdenken hin zum Serviceanbieter, um den sinkenden Margen entgegenzuwirken. Für die Verbraucher bedeutete die Liberalisierung ein Rollenwechsel vom reinen Abnehmer zum umworbenen Kunden.

### Markteinführung der erneuerbaren Energien

Die erste Phase der Energiewende ist gekennzeichnet durch die Markteinführung und den schnellen Ausbau der erneuerbaren Energien sowie den Konsens zum Atomausstieg. Der Beginn dieser Phase kann der Implementierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 1.4.2000 (EEG 2000) zugeordnet werden. Das angebotsorientierte Gesetz legte erstmals den Vorrang der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gegenüber konventionellen Energieträgern sowie eine garantierte Vergütung über 20 Jahre fest. Die durch den Einspeisetarif geschaffene Investitionssicherheit führte insbesondere zu Investitionen in die bisherigen Nischentechnologien Windkraft, Photovoltaik (PV) und Biogas.

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien konnten technische Entwicklungen stark vorangetrieben und so die Kosten pro installierter Leistung zunehmend gesenkt werden, wodurch sich der Ausbautrend über einen gewissen Zeitraum selbst beschleunigte. Die Etablierung der erneuerbaren Energien als nennenswerter Erzeuger im Energieregime wirkte sich sowohl auf den Netzbetrieb, den Energiehandel wie auch das Kundenverhalten aus.

Mit der zunehmend dezentralen und volatilen Erzeugung zu sehr geringen kurzfristigen Grenzkosten stieg ebenfalls die Volatilität der Strompreise (sogar negative Preise wurden zahlreicher am Day-Ahead Markt) sowie die Anforderungen an die Netzsteuerung und erforderlichen Backup-Kapazitäten. Durch die räumliche Trennung der Windenergie in Norddeutschland und den Zentren des industriellen Stromverbrauchs in der Mitte

sowie im Süden Deutschlands ergaben sich neue Herausforderungen für den Stromnetzausbau. Die fehlende Verlinkung zwischen dem Ausbau des Netzes war und ist eines der zentralen Hindernisse beim weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und stellt folglich ein zentrales Thema in der zweiten Phase der Energiewende dar.

Die veränderten Anforderungen an die Systemintegration erneuerbarer Energien haben zur Etablierung von weiteren vormaligen Nischen geführt. Zu diesen zählen insbesondere Flexibilitätsoptionen auf der Verbraucherseite wie das „Demand Side Management“, eine zunehmende Ausweitung des Spotmarkts sowie eine stärkere Einbindung in den europäischen Strommarkt.

Durch den zu maßgeblichen Anteilen auf privaten Investitionen basierenden Ausbau erneuerbarer Energien kam es zu einer Demokratisierung des Energieregimes. Viele Kunden wurden vom Verbraucher zum Prosumer. Insgesamt wuchs das gesellschaftliche Interesse an und die Partizipation im Energieregime, die Energiewende genoss und genießt

weiter breite gesellschaftliche Zustimmung. Zunehmende Kritik entsteht jedoch durch für Privatkunden steigende Strompreise.

### Prospektive Betrachtung zukünftiger Transformationsprozesse

In der zweiten Phase der Energiewende bestehen große Herausforderungen in Bezug auf die Systemintegration erneuerbarer Energien im Stromregime. Verstärkt wird dies durch ambitionierte Zielsetzungen, den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch nach der bereits sehr dynamischen Entwicklung der letzten 15 Jahre (der EE-Anteil am Bruttostromverbrauch stieg von rund 5 % Anfang der 2000er Jahre auf 36 % im Jahr 2017 [4], [5]) bis zum Jahr 2035 noch einmal deutlich (auf 55-60 %) zu steigern [6].

### Die Systemintegration der erneuerbaren Energien

Die Energiebranche steht momentan am Beginn der zweiten Phase der Energiewende, die durch die Systemintegration der erneuer-

baren Energien geprägt ist. Der Veränderungsdruck in dieser Phase resultiert maßgeblich aus soziotechnischen Entwicklungen, die über die Markteinführung der erneuerbaren Energien hinausgehen und durch übergeordnete Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie ebenso beeinflusst sind wie durch zentrale Megatrends wie Urbanisierung und Individualisierung.

Die zentrale Herausforderung in dieser Phase ist insbesondere das stärkere zeitliche Verknüpfen der Netztüchtigung (durch Ausbau und digitale Netzsteuerung) mit dem Ausbau erneuerbarer Energien. Am Beispiel des Netzausbaus zeigt sich besonders gut die Ambivalenz der gesellschaftlichen Haltung gegenüber der Energiewende. Aufgrund des teilweise gesellschaftlichen Widerstandes gegen überirdische Hochspannungsleitungen vor Ort [7] können Netzengpässe nur zum Teil in der gewünschten Geschwindigkeit durch Netzausbau kompensiert werden. Demgegenüber steht eine massive Zustimmung der Bevölkerung bezüglich der grundsätzlichen Ziele der Energiewende

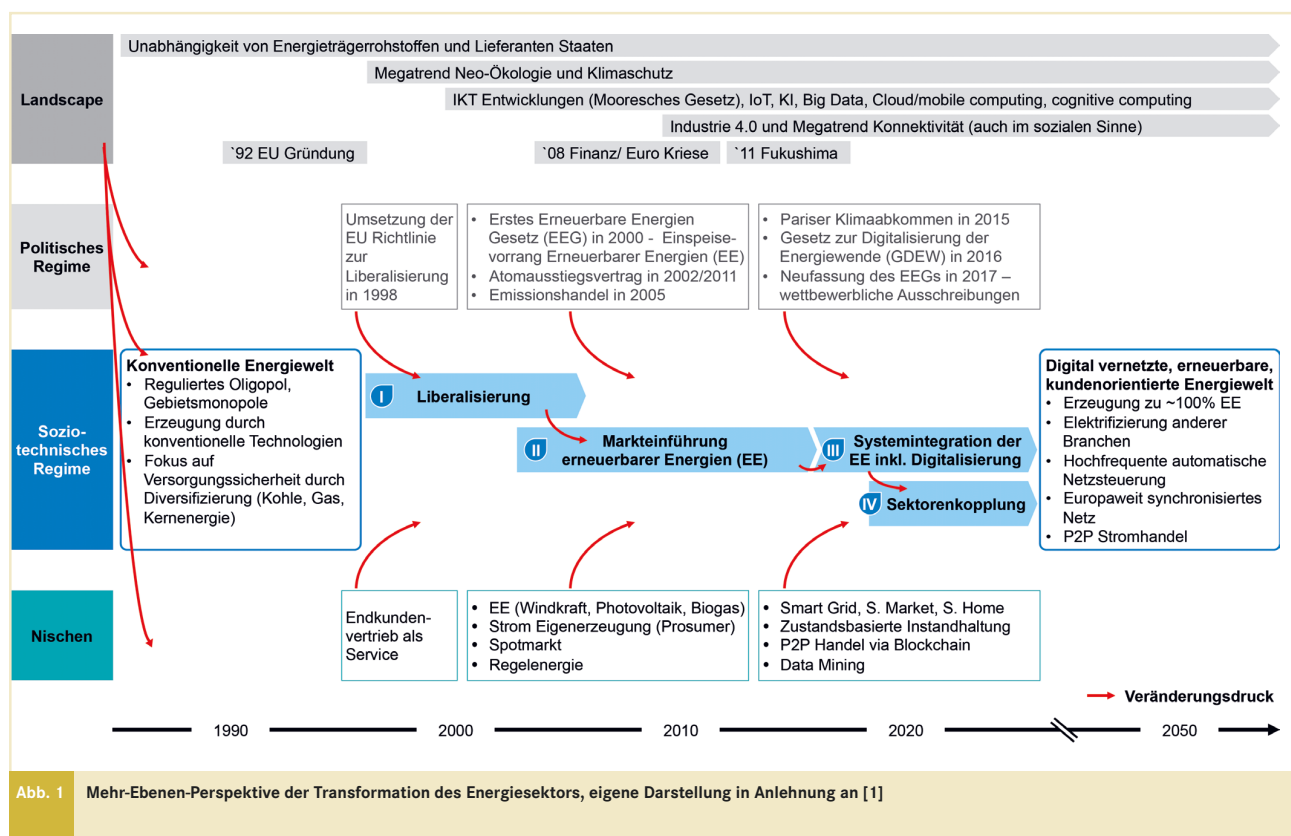


Abb. 1 Mehr-Ebenen-Perspektive der Transformation des Energiesektors, eigene Darstellung in Anlehnung an [1]

mit Zustimmungsraten von zum Teil 90 % [8]. Neben der grundsätzlichen Problematik der Akzeptanz von Netzausbaumaßnahmen besteht das Risiko, dass durch Investitionen ins Stromnetz die Netzentgelte und somit die Strompreise steigen, was den gesellschaftlichen Rückhalt der Energiewende gefährden könnte.

Ferner kommt in dieser Phase der Erhöhung der Energie- und Stromeffizienz und damit der Reduktion des spezifischen Endenergiebedarfs eine zentrale flankierende Bedeutung zu („Efficiency First“ [9]). Die Digitalisierung kann in mehrfacher Weise helfen, die genannten Herausforderungen erfolgreich aufzugreifen. Auf politischer Ebene führte der durch die Herausforderungen entstandene Veränderungsdruck u. a. zur Erlassung des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende (GDEW) im Jahr 2016 [10] und zu einer Neufassung des EEG im Jahr 2017 [6]. Das GDEW verleiht dem Smart Meter Rollout und der Datenkommunikation im Energienetz den notwendigen rechtlichen Rahmen. Dies ist ein wesentlicher „Enabler“ der Digitalisierung und ermöglicht die breite Nutzung digitaler Anwendungen. Im Gegensatz zum angebotsorientierten EEG 2000 basiert das nachfragerorientierte EEG 2017 auf Ausschreibungen und somit deutlich stärker auf marktwirtschaftlichen Prinzipien. Die ersten wettbewerblichen Ausschreibungen zeigten bereits eine deutliche Senkung der Einspeisevergütung.

Im Koalitionsvertrag zwischen CDU/CSU und SPD vom Februar 2018 [11] werden die im Klimaschutzplan 2050 [12] genannten (ehrgeizigen) Ziele für 2030 und 2050 bestätigt. Darüber hinaus wird als Konsequenz für das sehr wahrscheinliche Nichterreichen der Klimaschutzvorgaben für das Jahr 2020 angekündigt, das 2030er-Ziel durch die Aufnahme in ein Klimaschutzgesetz politisch aufzuwerten und diesem damit deutlich mehr Nachdruck zu verleihen. Mit einer spezifischen Expertenkommission soll der Weg für einen sozialverträglichen Kohleausstieg aufgezeigt und der Emissionshandel als Leitinstrument durch Modifikationen auf der europäischen Ebene gestärkt werden. Wie stark diese Absichten politisch untermauert werden, wird sich jedoch erst in der kommenden Legislaturperiode zeigen.

Die Kundenanforderungen nehmen in den kommenden Jahren (in der zweiten Phase der Energiewende) vermutlich noch zu. Industrielle Großkunden mit zunehmend hohem industriellem Standard (Industrie 4.0, Digitalisierung) fordern gleiche Standards von Energieunternehmen, insbesondere bezüglich Überwachbarkeit und Steuerbarkeit für eine reibungslose Einbindung von strombetriebenen Anwendungen in die betriebseigenen Prozesse. Privatkunden fordern ebenfalls Überwachbarkeit und Steuerbarkeit und den daraus resultierenden Zugewinn an Transparenz und Komfort. Einher mit der Forderung nach mehr Steuerbarkeit geht der bereits in der ersten Phase der Energiewende begonnene Trend der aktiven Einbindung des Kunden (i.e. Prosumer). Auch der Trend der steigenden Nachfrage nach „Ökostrom“ durch Privatkunden setzt sich fort [13].

Mit Blick auf die Kohleverstromung üben gesellschaftliche Gruppierungen und Industrienetzwerke Veränderungsdruck auf das Regime aus. So forderte ein Bündnis aus deutschen Unternehmen, Wirtschafts- und Umweltverbänden (u. a. Siemens, SAP, Adidas, Telekom) im Jahr 2017, dass ein verlässlicher Ausstiegspfad bei der Kohleverstromung durch die Politik aufgezeigt wird. Ebenfalls steigt die Anzahl von Banken und Versicherungsinstitutionen, die keine oder weniger Finanzierungsmittel für Kohle und andere konventionelle Energieträger für die Verstromung bereitstellen bzw. sich aus bestehenden Anleihen zurückziehen („Divestment“).

Der so bestehende Veränderungsdruck sorgt dafür, dass die Entwicklungen der ersten Phase der Energiewende (teils mit geändertem Fokus) weiter vorangehen sowie Bedarf nach (neuen) Nischenentwicklungen im Regime entsteht. Die wesentlichen zu erwartenden Entwicklungen sind u. a.:

- weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien;
- schrittweiser Ausstieg aus der Kohleverstromung;
- stärkere Vernetzung von Verbrauchern und Erzeugern (durch Smart Meter);
- zunehmender Bedarf an Flexibilität zu Netzsteuerung, insbesondere auch auf Verbraucherseite und verstärkter regionaler Ausgleich von Erzeugern und Verbrauchern

- (Smart Grid);
- zunehmend starke Preissignale zur Förderung von netzstabilitätszuträglichem Verhalten (Smart Market);
- steigender Bedarf an Speichertechnologie (Kurzzeitspeicher);
- Erweiterung der traditionellen Geschäftsmodelle um datenbasierte Geschäftsmodelle (insbesondere durch Smart Meter Daten);
- Reduzierung der internen Prozesskosten durch digitale Prozessoptimierung (e. g. zustandsbasierte Instandhaltung) und regionales Produzieren.

## Sektorenkopplung

Parallel zu den Aufgaben der Systemintegration erneuerbarer Energien in das Stromsystem kommt der Sektorenkopplung eine wachsende Bedeutung zu. Treibende Faktoren sind einerseits der aus den Klimaschutzziele resultierende Druck, in allen Endenergiesektoren klimaverträgliche Energieträger einzusetzen, und andererseits die Notwendigkeit, neue flexibel steuerbare Stromanwendungen zum Ausgleich der volatilen erneuerbaren Strom Einspeisung zu schaffen. Auch hier ergeben sich durch die Digitalisierung deutlich verbesserte Möglichkeiten zur Einbindung und Steuerung der neuen Stromanwendungen (Erzeugung, Verbrauch und Speicher).

Durch die Sektorenkopplung werden konventionelle Energieträger in anderen Branchen durch erneuerbaren Strom substituiert, wodurch flexibel steuerbare Verbraucher/Erzeuger entstehen. Obgleich sich der Stromverbrauch durch die Sektorenkopplung erhöht, führt dies zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen. Im Zuge der Sektorenkopplung werden sich Nischenentwicklungen im Energieregime etablieren können. Ein besonderer Fokus liegt hier auf dem Bereich E-Mobility, Wärmepumpen, Feedstocks verschiedener energieintensiver Branchen sowie perspektivisch synthetische gasförmige und flüssige Brennstoffe. Der politische Wille zur Sektorenkopplung zeigt sich bereits durch die geplante Unterstützung der E-Mobility, der hierfür notwendigen Ladeinfrastruktur und der sog. „Power to X-Technologien“ im Koalitionsvertrag zwischen CDU/CSU und SPD. Aus der stark auf die Stromwende fokussierten Energiewende wird zunehmend eine Wärme- und Mobilitätswende.



## Digital vernetzte, erneuerbare und kundenorientierte Energiewelt

Unterstützend zur Systemintegration erneuerbarer Energien und der Sektorenkopplung erfolgt die sukzessive Umsetzung einer digital vernetzten und stärker kundenorientierten Energiewelt. Dieser Zustand ist gekennzeichnet durch:

### Erzeuger

- Erzeugung erfolgt vorwiegend durch erneuerbare Energien.
- Notwendige Flexibilität wird durch (gasbetriebene) Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erreicht.
- Investitionen sind häufig kleinteilig und erfolgen kurzfristig.

### Verbraucher

- Kunden verlangen Transparenz und flexible individuelle Dienstleistungen, tauschen Informationen mit anderen Verbrauchern aus und vergleichen Angebote.
- Energieeffizienz ist im Fokus, verbindet sich aber mit anderen Dienstleistungen (z. B. Komfort, Sicherheit) zu ganzheitlichen Anforderungen.
- Durch Sektorenkopplung sehr große Anzahl an flexiblen Verbrauchern/ Erzeugern/ Speichern.

### Netz

- hochfrequente, automatische Steuerung der Erzeuger und Verbraucher auf Verteilnetzbetreiberebene (lokaler Ausgleich);
- sehr hohe Prognosegenauigkeit basierend auf „Big Data“ erleichtert Steuerung;
- europaweit synchronisiertes Stromnetz.

### Handel

- Flexibilitätmarkt zugänglich für alle Erzeuger und Verbraucher;
- hohe Liquidität im Spotmarkt;
- „Peer-to-Peer“ Handel (von Prosumer zu Prosumer).

### Vertrieb

- Vertrieb von Kundenlösungen, Produkten und Services.
- Kundenfokus ist Kernkompetenz.
- Kundendaten werden analysiert, um Bedürfnisse und Verhalten vorherzusagen.

## Externe und interne Treiber der Digitalisierung

Die Digitalisierung des Energiesektors ist ein wichtiger Teilprozess der Transformation des Energieregimes und eng verknüpft mit den Entwicklungen auf verschiedenen Ebenen. Getrieben wird die sie sowohl durch übergeordnete „Landscape“-Faktoren wie auch durch regimeinterne Entwicklungen. Es kann unterschieden werden in Push-Faktoren, welche die Grundvoraussetzungen für die Digitalisierung schaffen und Pull-Faktoren, welche einen Bedarf an digitalen Lösungen kreieren.

Als „Technology Push“-Faktor der Digitalisierung ist insbesondere der technologische Fortschritt im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie die damit verbundene Entwicklung zur umfassenden Konnektivität zu nennen. Relevante IKT-Anwendungen sind insbesondere das „Internet of Things“ (IoT), „Big Data/Advanced Analytics“, „Cloud/Mobile Computing“, „Cognitive Computing“ und zukünftig auch die künstliche Intelligenz (weitere Informationen finden sich in [14-16]). Der Fortschritt der IKT bildet die Grundlage der Digitalisierung in allen Bereichen von Industrie und Gesellschaft und kann als „Enabler“ betrachtet werden.

Die „Demand Pull“ Faktoren der Digitalisierung basieren auf Veränderungen innerhalb des Regimes, die einen Bedarf an digitalen Lösungen kreieren. Insbesondere sind folgende Punkte zu erwähnen:

- Treibhausgasreduktionsziel → Lösungen zur Erhöhung der Energieeffizienz.
- geplanter weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien → Lösungen zur Verbesserung der Netzstabilität und zum Ausgleich der volatilen Einspeisung erneuerbarer Energien (inkl. Flexibilisierung der Verbraucherseite);
- gestiegene Kundenerwartungen → Erweiterung der kundenorientierten Services;
- Senkung der Stromkosten (insbesondere im Privatkundenbereich) → Lösungen zur Erhöhung der Kosteneffizienz.

Darüber hinaus sind weitere regimeinterne Faktoren zu identifizieren, welche einerseits Resultat der Digitalisierung sind, diese aber andererseits in Wechselwirkung steuern und/

oder beschleunigen. Hier sind insbesondere das Auftreten neuer agiler Wettbewerber mit schnellen Innovationszyklen als Beschleuniger sowie der politische Einfluss (z. B. durch das EEG 2017 und das GDEW) als richtungsgebender Einfluss zu nennen.

Neben den treibenden Faktoren sind Sicherheitsaspekte bezüglich der kritischen Infrastruktur und Datenschutz (beschrieben in [17]) als potenzielle Hindernisse frühzeitig zu adressieren.

## Kategorisierung der resultieren den Anwendungen und Geschäftsfeldchancen

Die digitalen Anwendungen im Energiesektor können in drei übergeordnete Anwendungsgebiete kategorisiert werden:

- System – Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch und intelligente Steuerung des Netzes;
- Kunde – Erweiterung kundenorientierter Services;
- Betrieb – Effizienzsteigerung betriebseigener Prozesse.

In Abb. 2 sind die drei Kategorien dargestellt und ihnen jeweils konkreten Nutzenfunktionen und technische „Enabling-Faktoren“ zugeordnet. Für viele digitale Anwendungen sind Hardwarekomponenten Voraussetzung (z. B. Smart Meter, Sensoren, Steuerelemente, Speicher, Erzeuger). Deren Verkauf, Installation, Wartung und Betrieb bieten ebenfalls die Etablierung von Geschäftsfeldmöglichkeiten, welche hier jedoch nicht detaillierter betrachtet werden. Aus Abb. 2 lassen sich die folgenden zentralen Beobachtungen ableiten:

- Verbesserte Systemstabilität wird vorwiegend durch digitale Anwendungen im Bereich System d. h. Netz und Markt erreicht. Insbesondere die Flexibilisierung von Erzeugern und Verbrauchern und die damit entstehenden Möglichkeiten der Netzsteuerung bzw. der Vermarktung der Flexibilitäten im Zusammenspiel mit durch Big Data-Analysen verbesserten Erzeugungs- & Verbrauchsprognosen können hierzu Beiträge leisten. Hinzu kommt, dass durch mehr Monitoring- und Steuerungspunkte im Netz die Kenntnis über Lastflüsse erweitert wird und bestehende Kapazitäten besser genutzt werden können.

■ Der spezifische Energiebedarf kann durch digitale Anwendungen im Netz und Kundenservices gesenkt werden. Die bereits beschriebene verbesserte Netzsteuerung führt zu einer Reduzierung der Verlustleistung und somit des Strombedarfs. Durch digitale Kundenservices zur Energieeffizienzoptimierung (z. B. Steuerung von Beleuchtung) kann der direkte Verbrauch reduziert werden.

■ Neue Geschäftsmodelle und somit neue Umsatzkanäle ergeben sich durch digitale Kundenservices und durch das Angebot der Vermarktung von Erzeugern und Flexibilitäten als Service. Neben den vielfältigen Möglichkeiten für Smart Home Applikationen hat insbesondere die Sammlung und Auswertung von Smart Meter Daten ein großes Potenzial für neue Geschäftsmodelle. Wie genau das Potenzial umzusetzen ist, wird sich in den kommenden Jahren zeigen.

■ Potenzial zur Kostenreduktion besteht bei sehr vielen digitalen Anwendungen in allen Anwendungsgebieten, maßgeblich sind jedoch die Effizienzgewinne durch Digitalisierung der betriebsinternen Prozesse. Als größter Hebel ist hier die konsequente Ausweitung der zustandsbasierten Instandhaltung von Erzeugungsanlagen und Netzen zu nennen.

■ Die Kundenbedürfnisse werden vorwiegend durch die kundenorientierten Services erfüllt, jedoch führen auch andere digitale Anwendungen zu einer erhöhten Kundenzufriedenheit, etwa durch eine Verbesserung der „Customer Journey“ durch eine digitale Umstellung der internen Prozesse.

■ Neben den bereits diskutierten „Demand Pull“-Faktoren der Digitalisierung lassen sich bezüglich der „Technology Push“-Faktoren das Internet of Things (ermöglicht durch den Smart Meter Roll-out) und Big Data/Advanced Analytics als wichtigste „Enabler“ der Digitalisierung hervorheben. Bei zunehmenden Datenvolumen für Big Data werden im weiteren Verlauf Cloud Lösungen zunehmend relevant.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Digitalisierung ein wichtiger Bestandteil der Gesamttransformation des Energiesystems ist. Getrieben durch IKT-Entwicklungen, einem hohen Bedarf an digitalen Lösungen im Energiesektor sowie digitalen

Entwicklungen in anderen Bereichen der Gesellschaft und Industrie führt auf dem Weg in eine zukünftige digital vernetzte, erneuerbare und kundenorientierte Energiewelt kein Weg an der Digitalisierung des Energiesektors vorbei.

Zunehmend werden digitale Anwendungen genutzt, um die Netzstabilität zu verbessern, die Energie- und Kosteneffizienz zu erhöhen, Kundenerwartungen zu erfüllen und neue Geschäftsfeldmöglichkeiten zu etablieren. Wichtigste technologische „Enabler“ hierfür werden die Vernetzung durch Smart Meter (IoT) sowie die Fähigkeit, die anfallenden Datenmengen zu analysieren (Big Data und Cloud) sein.

## Quellen

- [1] Geels, F. W.: „Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multilevel perspective and a case study“, Res. Policy, Nr. 31, S. 1257-1274, 2002.
- [2] Geels, F. W.: „Regime Resistance against Low-Carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-Level Perspective“, Theory Cult. Soc., Bd. 31, Nr. 5, S. 21-40, Sep. 2014.

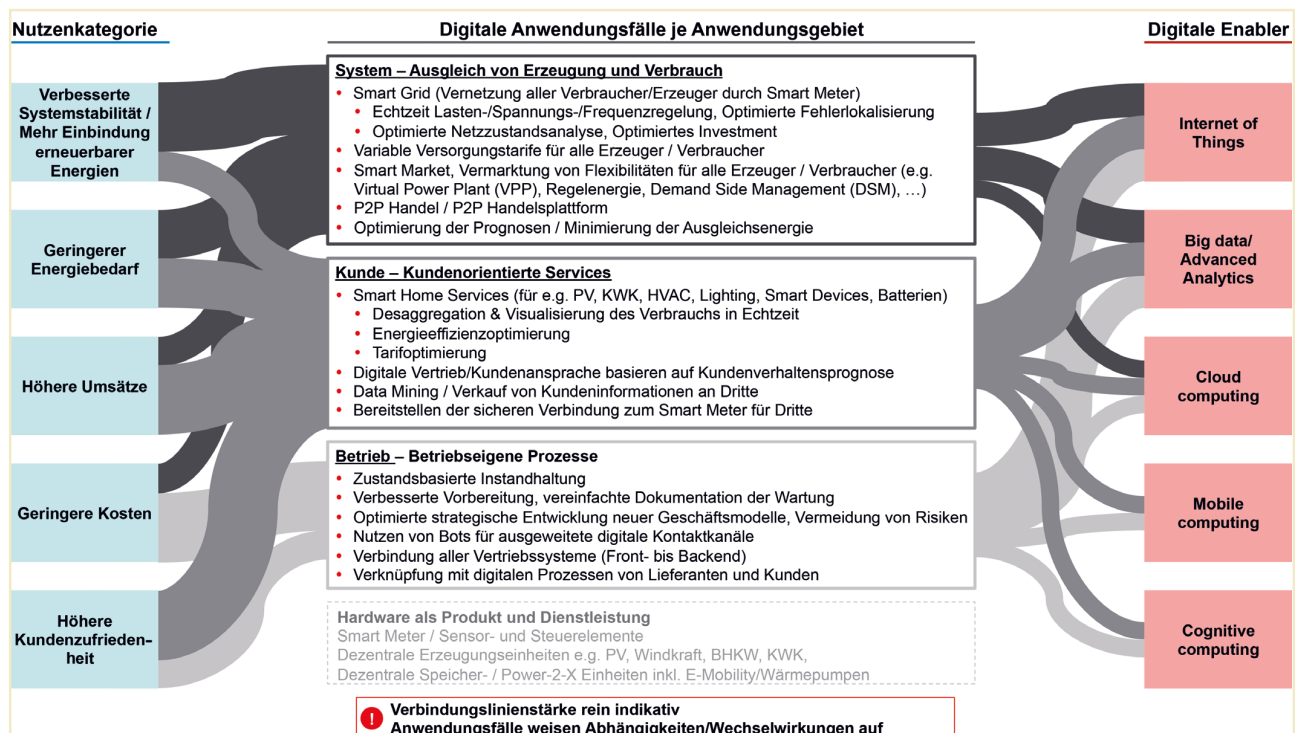


Abb. 2 Digitale Anwendungen deren Nutzen und „Enabler“, eigene Darstellung

- [3] Rogge, K. S.; Pfluger, B.; Geels, F. W.: „Transformative policy mixes in sociotechnical scenarios: the case of the lowcarbon transition of the German electricity system“. Working Paper Sustainability and Innovation, Nov-2017.
- [4] Meunier, C.: „Erneuerbare Energien in Deutschland“, Umweltbundesamt, März 2017.
- [5] Agora: „Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2017“, Jan. 2018.
- [6] Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017.
- [7] Sonnberger, M.; Ruddat, M.: Die gesellschaftliche Wahrnehmung der Energiewende – Ergebnisse einer deutschlandweiten Repräsentativbefragung. 2016.
- [8] Setton, D.; Matuschke, I.; Renn, O.: „Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energiewende 2017: Kernaussagen und Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse“, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), 2017.
- [9] BMWi: „Impulspapier Strom 2030“, 2016.
- [10] Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende. 2016.
- [11] CDU/CSU und SPD: „Koalitions-vertrag von CDU, CSU und SPD“.
- [12] BMUB: „Klimaschutzplan 2050“, 2016.
- [13] Steinemann, M.; Schwegler, R.; Spescha, G.: „Grüne Produkte in Deutschland 2017: Marktbeobachtungen für die Umweltpolitik“, UBA, Dez. 2017.
- [14] Wallmüller, E.: Praxiswissen Digitale Transformation: den Wandel verstehen, Lösungen entwickeln, Wertschöpfung steigern. München: Hanser, 2017.
- [15] BDEW: „Strategiepapier: Digitalisierung in der Energiewirtschaft“. 2015.
- [16] Abolhassan, F. (Hrsg.): Was treibt die Digitalisierung? Warum an der Cloud kein Weg vorbeiführt. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016.
- [17] BSI: „Das Smart-Meter-Gateway“, 2015.

---

*P. Weigel, wissenschaftlicher Mitarbeiter,  
Prof. Dr.-Ing. M. Fishedick, Vizepräsident,  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt,  
Energie gGmbH  
manfred.fishedick@wupperinst.org*